

# Die Rolle der Stratosphäre im Klimasystem

Martin Dameris

DLR-Institut für Physik der Atmosphäre

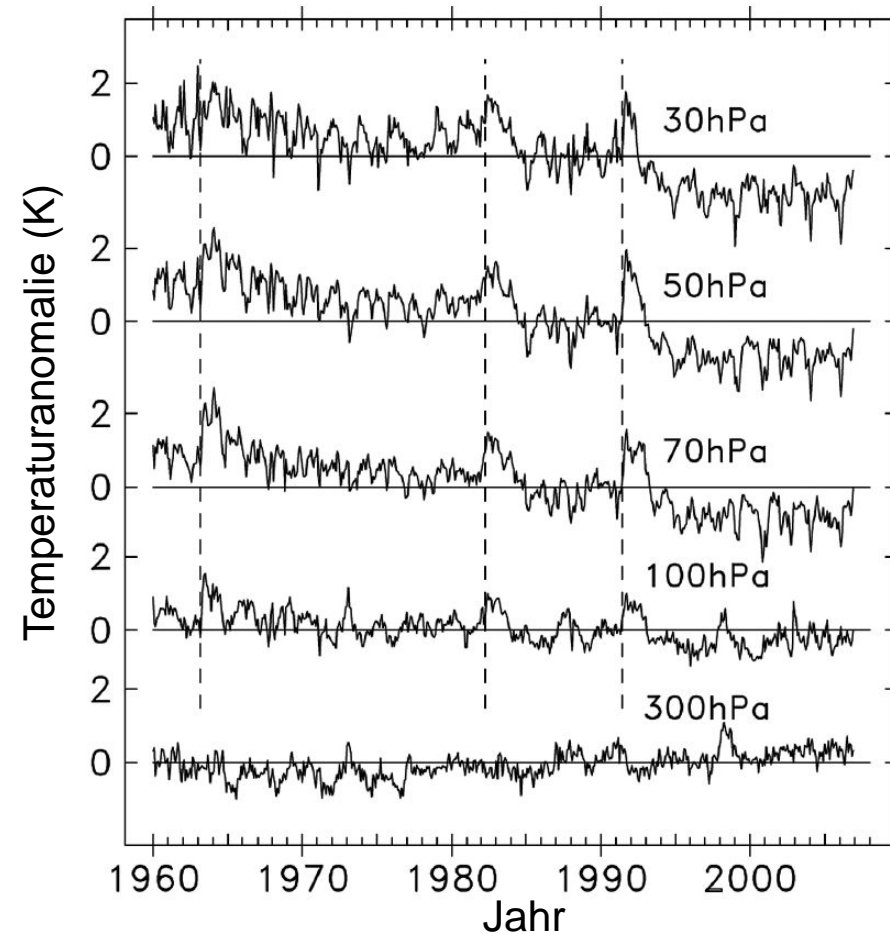


Wissen für Morgen



# Klimawandel: Temperaturentwicklung in der Troposphäre und Stratosphäre

- Erhöhung der mittleren, globalen Oberflächentemperatur:  $0,74^{\circ}\text{C} / 100 \text{ Jahre}$  (IPCC, 2007);
- Abkühlung in der Stratosphäre:  $0,7^{\circ}\text{C} / 10 \text{ Jahre}$  (WMO, 2011);
- bedingt durch erhöhte Konzentration von Treibhausgasen, vor allem  $\text{CO}_2$ ;
- Einflüsse von großen Vulkanausbrüchen und dem 11-jährigen Sonnenaktivitätszyklus.

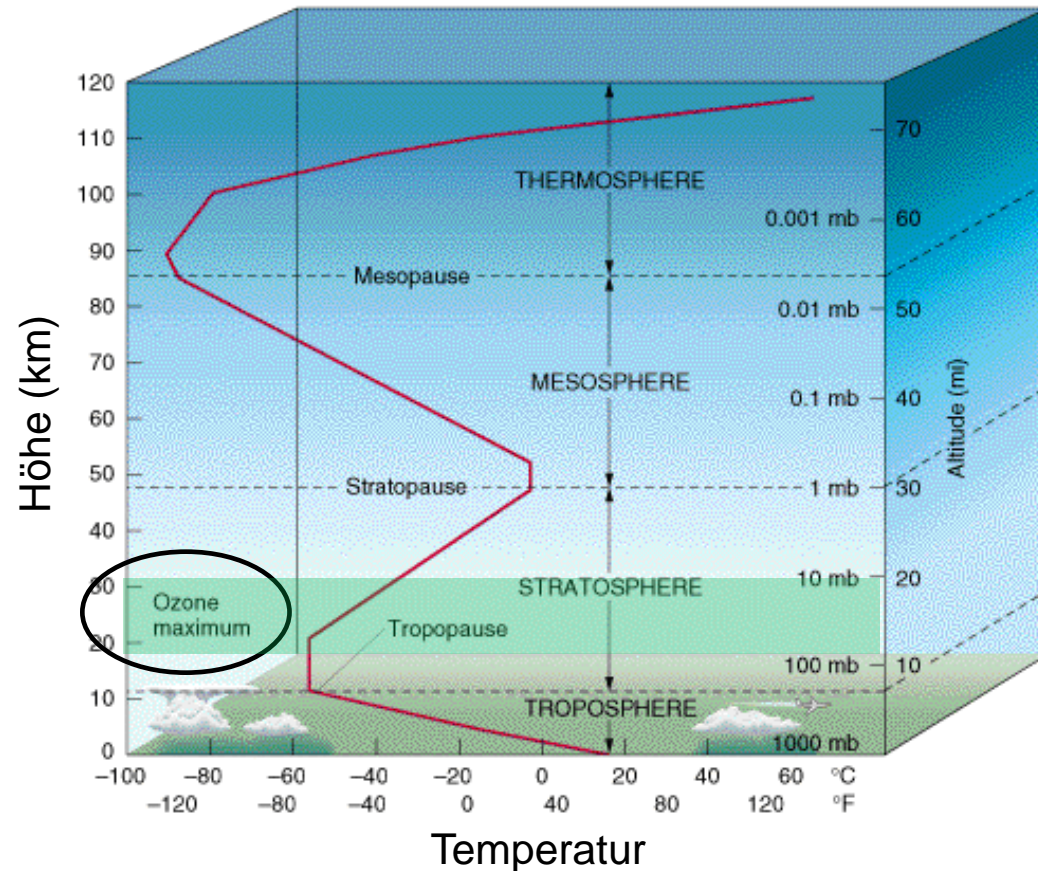


WMO, 2011



# Klimawandel: Einfluss auf die Dynamik der Atmosphäre

- Ozonabnahme in der Stratosphäre (→ FCKW);
  - verstärkt die Abkühlung der unteren Stratosphäre;
  - die Stabilität der Stratosphäre ändert sich, da die Abkühlung mit der Höhe zunimmt;
- ⇒ Veränderung der Stratosphärendynamik und damit auch des Transports von Spurengasen, z. B. Ozon.



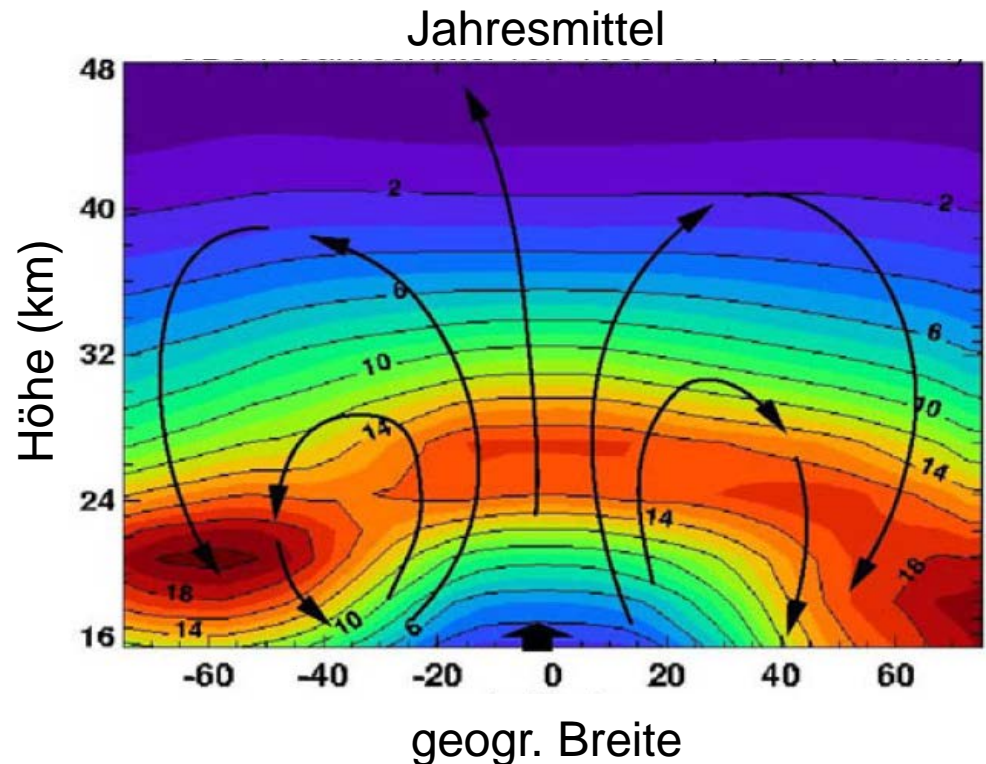
Aguado und Burt (1999)





# Zirkulation in der Stratosphäre und Ozontransport

- Großräumige Zirkulation in der Stratosphäre (Brewer-Dobson Zirkulation);
- Spurengasverteilung wird maßgeblich beeinflusst;
- Veränderungen der Spurengasverteilung durch natürliche und anthropogene Vorgänge.



# Der Klimawandel und die Stratosphäre

## Aktuelle Fragen:

- In welcher Weise beeinflusst der Klimawandel die Dynamik und chemische Zusammensetzung der Stratosphäre?
- Welche Bedeutung hat die Stratosphäre für die Dynamik und Chemie der Troposphäre?
- Welche Prozesse sind für die Kopplung von Stratosphäre und Troposphäre verantwortlich?
- Brauchen wir die Stratosphäre für bessere Wettervorhersagen (saisonale Vorhersagen!?) und zuverlässigere Klimaprognosen?



# WCRP-SPARC



## **SPARC – Stratospheric Processes And their Role in Climate**

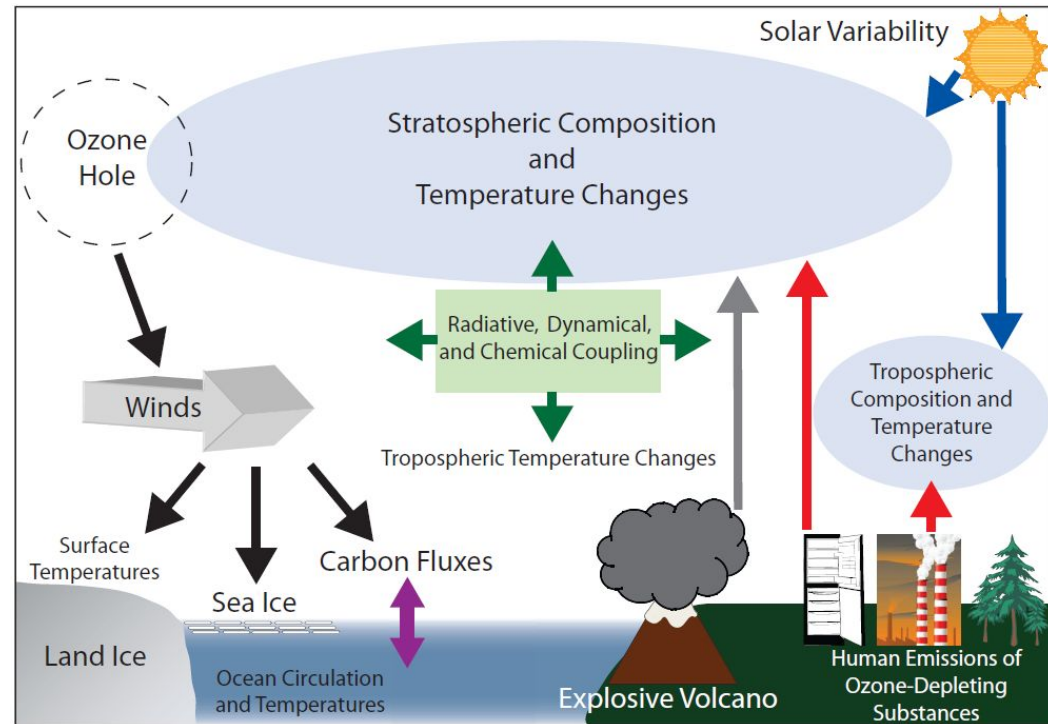
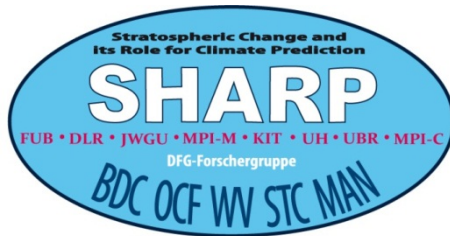
“SPARC is a core project of the **World Climate Research Program** (WCRP) which coordinates international efforts to bring knowledge of the stratosphere to bear on relevant issues in climate variability and prediction.”



# DFG-Forschergruppe SHARP

## Stratospheric Change and its Role for Climate Prediction

- „SHARP is focusing on the quantitative detection, attribution and prediction of **changes in stratospheric dynamics and composition linked to climate change** and their implications for the troposphere.“



## 4 Projekte in SHARP – die zentralen Fragen

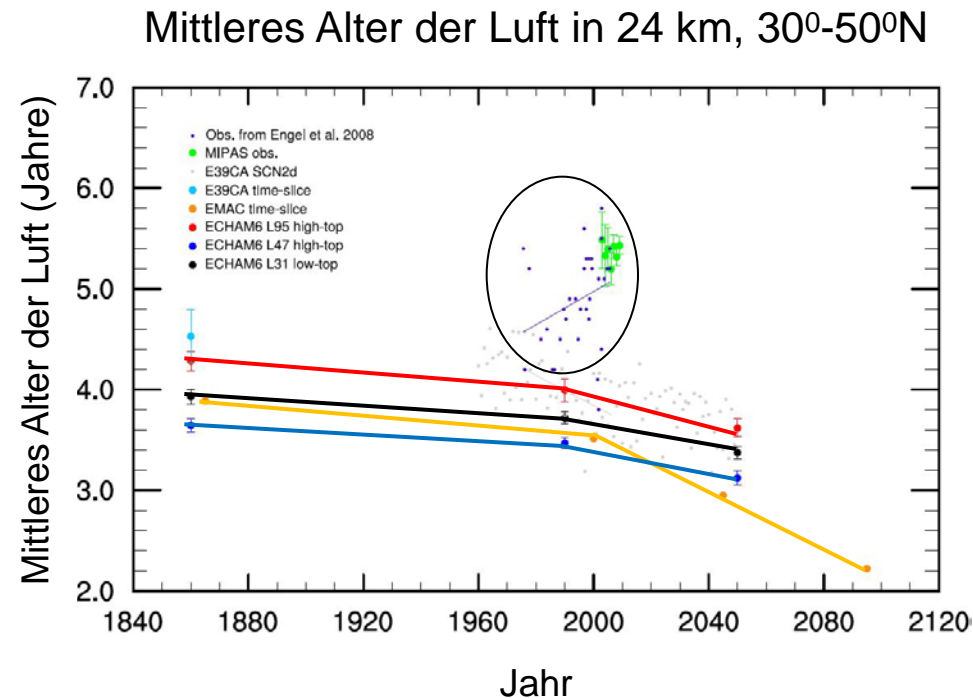
- Brewer-Dobson Zirkulation (SHARP-BDC):
  - How is the Brewer-Dobson circulation affected by climate change, and which processes are relevant?
- Ozon-Klima (SHARP-OCF):
  - How is the evolution of stratospheric ozone affected by climate change, and how strong is the feedback?
- Wasserdampf (SHARP-WV):
  - How is stratospheric water vapour affected by climate change, and which processes are responsible?
- Stratosphären-Troposphären Kopplung (SHARP-STC):
  - How is the stratosphere-troposphere coupling affected by climate change, and how strong is the climate feedback?





# SHARP-BDC

- Vergleich von Beobachtungsdaten und Ergebnissen von numerischen Modellen; hier: „Alter der Luft“.
- Beobachtungen (Engel et al., 2008) deuten auf ein zunehmendes Alter der stratosphärischen Luft hin.
- Modelle hingegen zeigen eine Abnahme des Alters mit zunehmenden Treibhausgaskonzentrationen ;  
⇒ Hinweis auf verstärkte Zirkulation in der Zukunft.

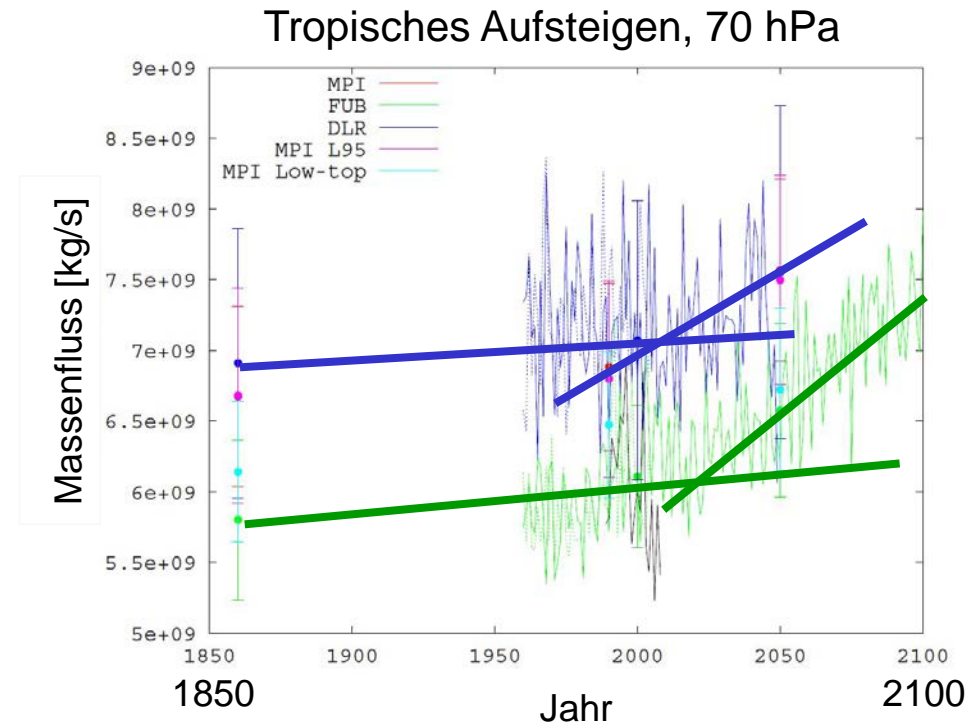


Bunzel, Engel, Garny, Stiller, Oberländer, et al., 2012



# SHARP-BDC

- Aufsteigen tropischer Luft;
- hier: Massenfluss in der tropischen unteren Stratosphäre;
- Hinweise auf verstärktes Aufsteigen tropischer stratosphärischer Luftmasse in der Zukunft.

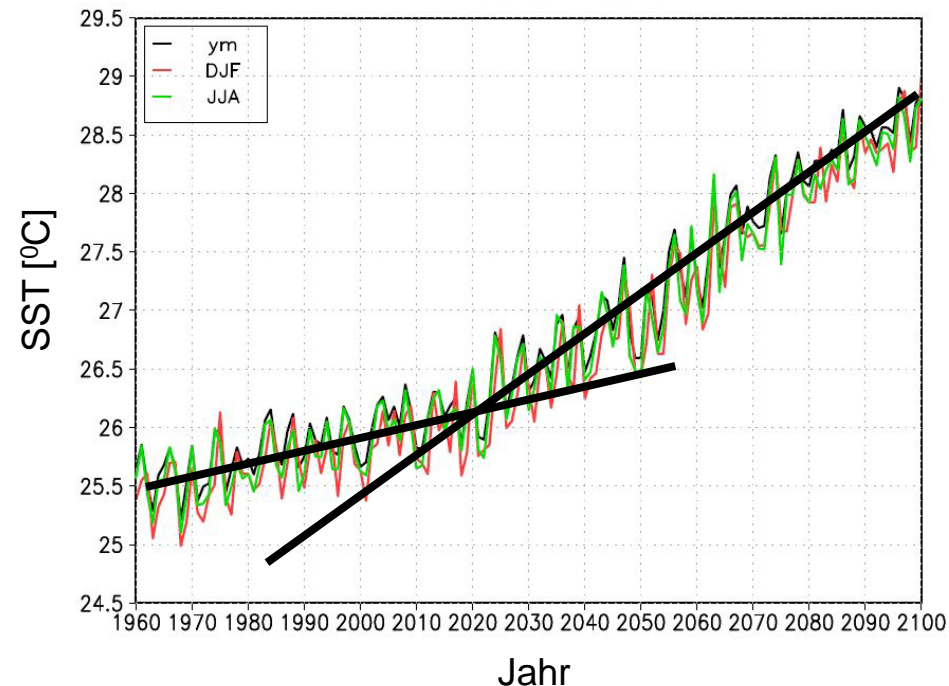


Bunzel, Garny, Oberländer, et al., 2012



- Einfluss der (vorgeschriebenen) Meeresoberflächentemperaturen (SST) in den Modellen.
- Höhere tropische Meeresoberflächentemperaturen führen lokal zu verstärkter hoch reichender Konvektion, erhöhter Freisetzung latenter Wärme verbunden mit zusätzlicher Anregung von quasi-stationären planetaren Wellen, verstärktem Aufsteigen tropischer Luftmassen.

Zeitliche Entwicklung der tropischen SST (30°S-30°N)

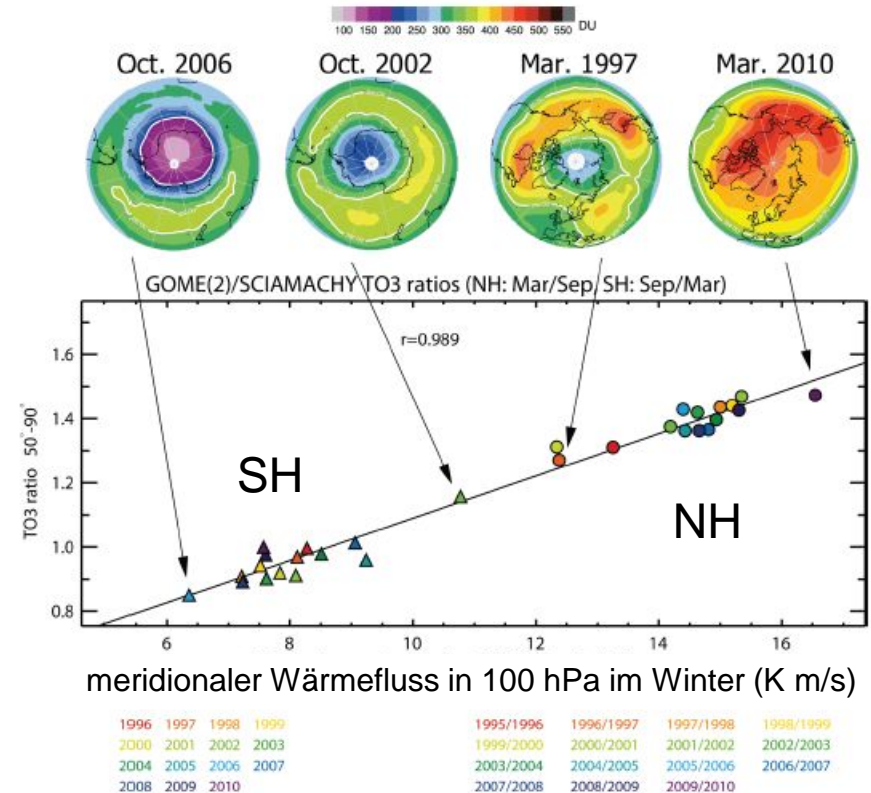


Oberländer, 2012



## Entwicklung der Ozonschicht

- Die mittleren Temperaturen in der polaren unteren Stratosphäre sind in der Nordhemisphäre (NH) um etwa  $10^{\circ}\text{C}$  höher als in der Südhemisphäre.
- Linearer Zusammenhang zwischen dynamischer Aktivität (hier: meridionaler Wärmefluss in 100 hPa) in der Stratosphäre und Ozonänderungen in der polaren unteren Stratosphäre.



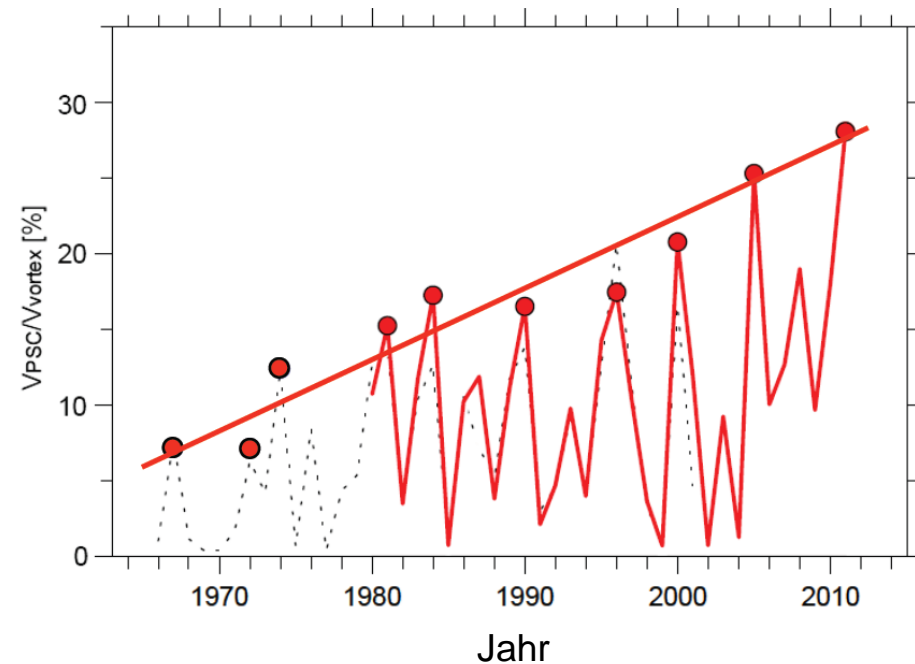
Weber u.a., 2011





## Entwicklung der Ozonschicht

- Die mittleren Temperaturen in der polaren unteren Stratosphäre sind in der Nordhemisphäre (NH) um etwa  $10^{\circ}\text{C}$  höher als in der Südhemisphäre.
- Linearer Zusammenhang zwischen dynamischer Aktivität in der Stratosphäre und Ozonänderungen in der polaren unteren Stratosphäre.
- **Tendenz: Kalte Winter (NH) werden kälter!?**



Rex u.a., 2006; WMO, 2011

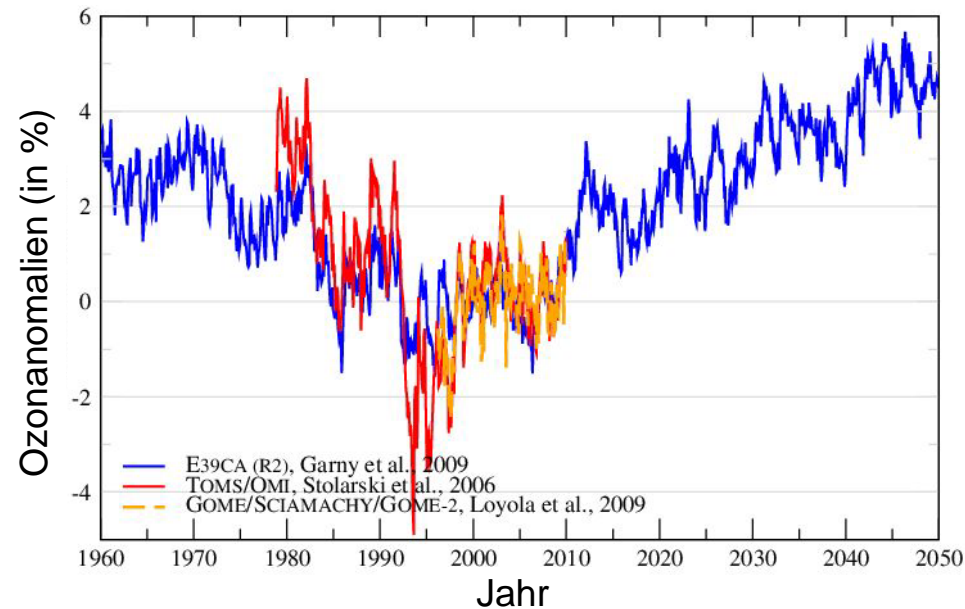


# SHARP-OCF

## Entwicklung der Ozonschicht

- Global – ohne Polarregionen.
- Starker Rückgang in den 1980er und 1990er Jahren.
- Folge der hohen stratosphärischen Chlorbeladung durch FCKW.
- Deutliche Signale des 11-jährigen Sonnenaktivitätszyklus und der großen Vulkanausbrüchen.
- In der Zukunft beschleunigte Erholung, wenn es kälter wird.
- Global mehr Ozon, da langsamere Ozonabbaureaktionen  $\Rightarrow$  Ozon-Nettoproduktion steigt an.

Anomalien der Ozonsäulen: 60°S-60°N



Rot und orange: Satellitendaten  
Blau: Daten eines Klima-Chemie-Modells

Dameris und Loyola, 2012

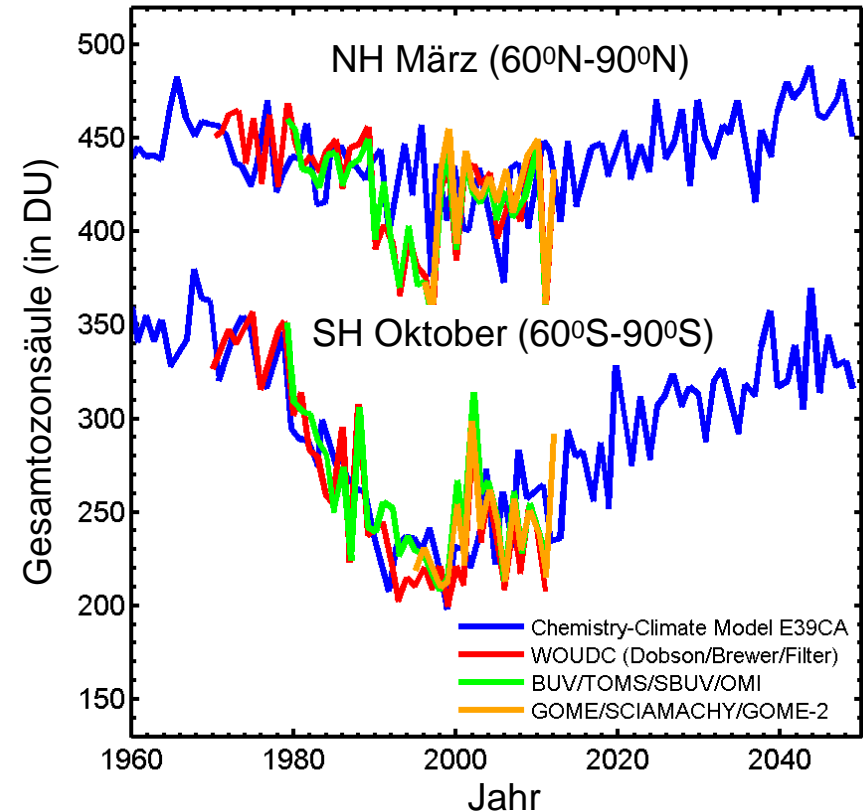


## Entwicklung der Ozonschicht

- Polarregionen (NH und SH).
- Unterschiedliche Entwicklung.
- Polarregionen: Verzögerte Erholung, wenn es kälter wird.
- Wechselwirkung mit einer sich ändernden Zirkulation.

? in NH: Werden kalte Winter kälter?

## Polarregionen im Frühjahr



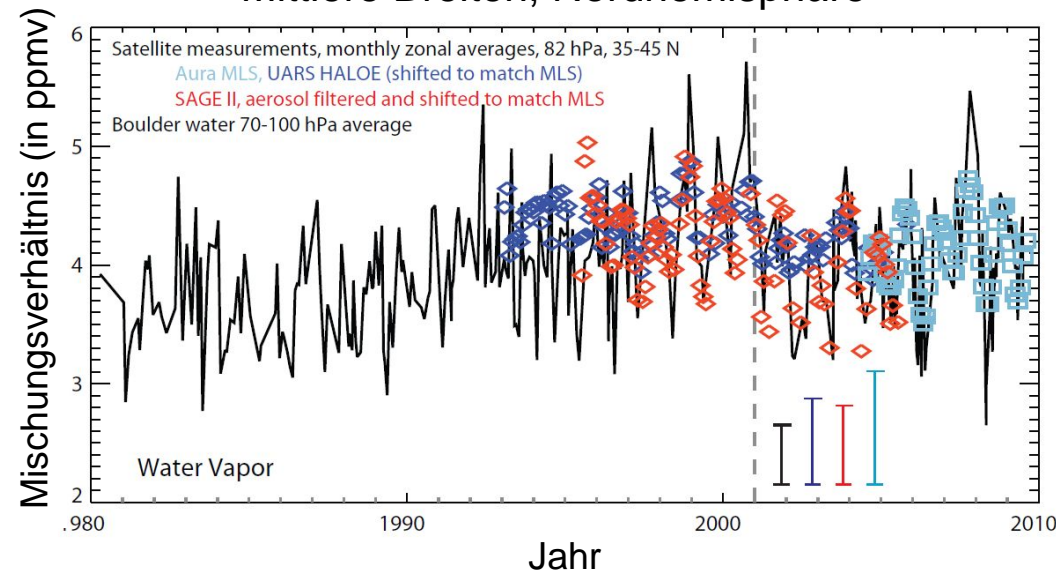
Rot und orange: Satellitendaten  
Blau: Daten eines Klima-Chemie-Modells



## Wasserdampfgehalt in der unteren Stratosphäre

- Stetige Zunahme zwischen 1980 und 2000 dokumentiert durch Messungen.
- Anstieg wird durch Klima-Chemie-Modelle qualitativ bestätigt.
- Nach 2000 ist die Wasserdampfkonzentration in der Stratosphäre abrupt um 10% gesunken.
- Gleichzeitiger Abfall der tropischen Tropopausentemperatur.
- Verbunden mit verstärktem Aufsteigen tropischer Luftmassen.

## Wasserdampf in unterer Stratosphäre Mittlere Breiten, Nordhemisphäre



Solomon et al., 2010

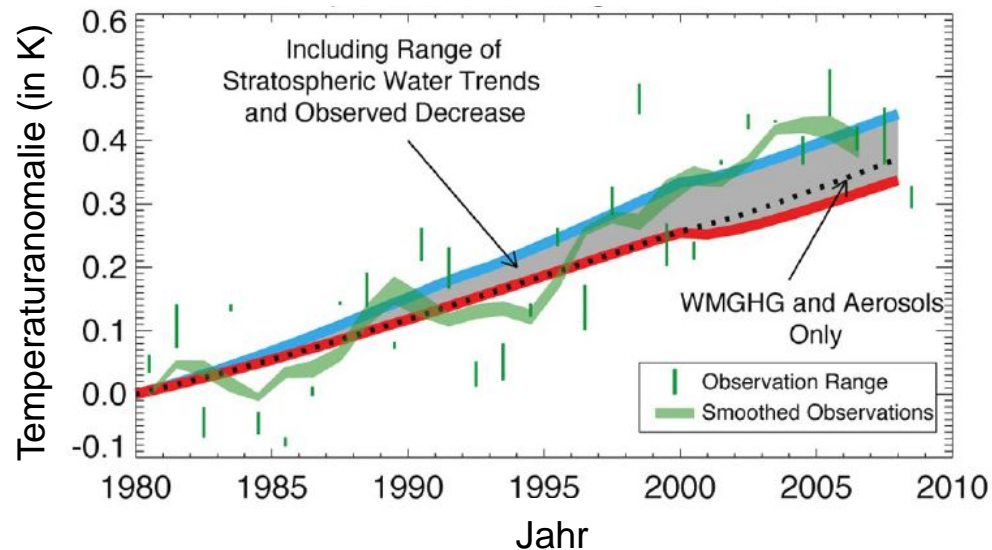




## Wasserdampf und Klima

- Rückgang des stratosphärischen Wasserdampfgehalts in 2000 führt zu einer Verlangsamung des Anstiegs der bodennahen Temperatur um 25% zwischen 2000 und 2009.
- Anstieg des Wasserdampfgehalts zwischen 1980 und 2000 hat etwa 30% der Erwärmung in Bodennähe ausgemacht.
- Stratosphärischer Wasserdampf ist von großer Bedeutung für den Klimawandel – wesentlicher Beitrag zur reduzierten Erwärmung seit Ende der 1990er Jahre.

Änderung der Bodentemperatur  
(globales Jahresmittel) seit 1980

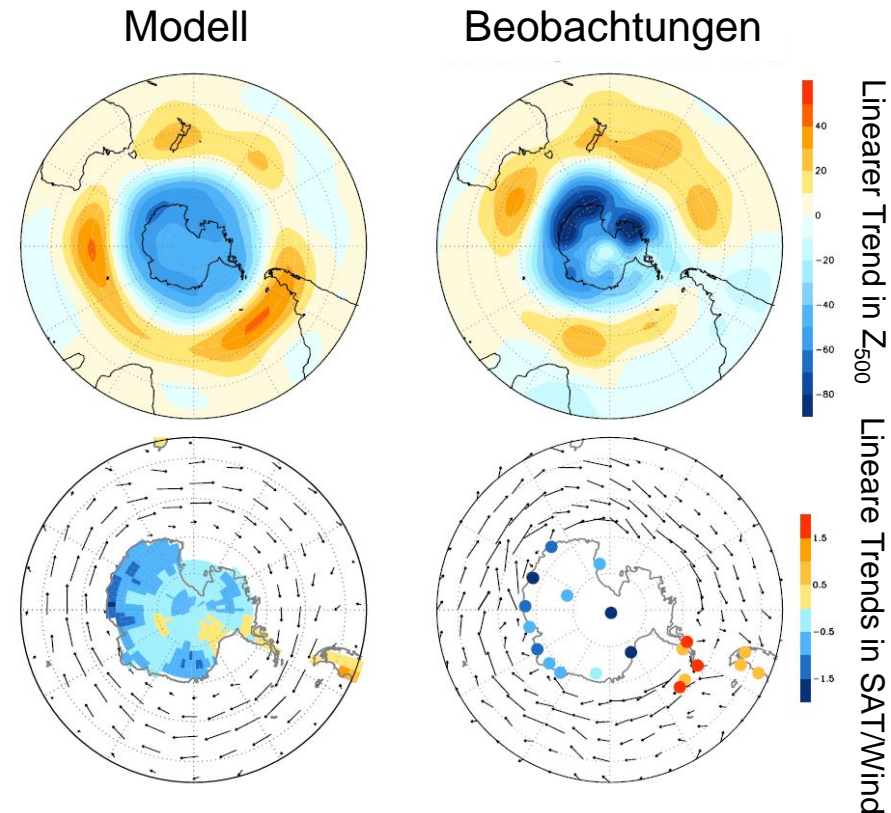


Solomon et al., 2010



# SHARP-STC

- Einfluss der Stratosphäre auf das Bodenklima – **Beispiel: Antarktis.**
- Verstärkung des Polarwirbels.
- Rückgang der Bodentemperatur über dem antarktischen Kontinent.
- Zunahme der Windgeschwindigkeit an der Oberfläche.
- Zunahme der Bodentemperatur auf der antarktischen Halbinsel und an der Spitze Südamerikas.



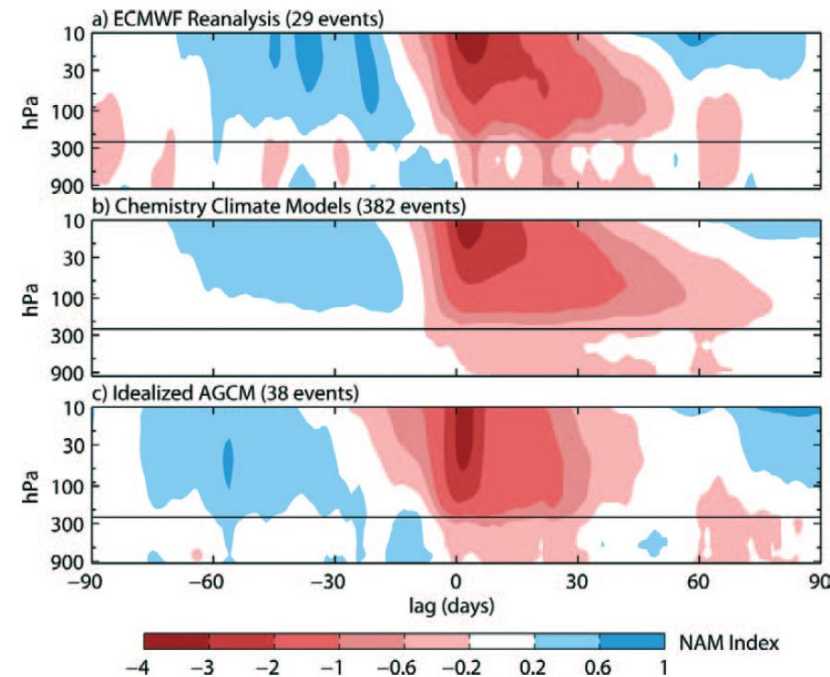
Gillett und Thompson, 2003



# SHARP-STC

- Ereignisse in der polaren Stratosphäre (hier: starke, plötzliche Erwärmung) können sich bis in die untere Atmosphäre durchsetzen.
  - Vergleiche von Variabilitätsmustern in der Stratosphäre und der Troposphäre belegen dies.
  - Stratosphärische Prozesse beeinflussen Wetter und Klima.
- ? Unter welchen Umständen reagiert die Troposphäre auf stratosphärische Ereignisse?

## Reanalysen und Modellergebnisse



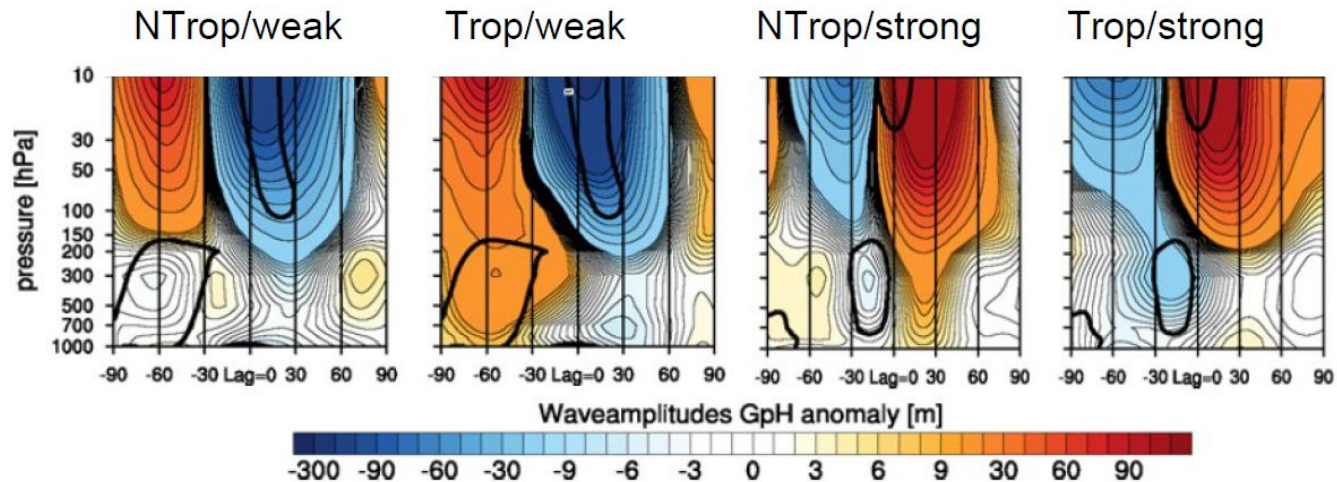
Gerber et al., 2012  
Baldwin und Dunkerton, 2001





## SHARP-STC

- Unterscheidung nicht nur von Stark- und Schwachwirbelereignissen!
- Zusätzliche Einteilung nach Ereignissen, die nicht-signifikante bzw. signifikante Signaturen in der Troposphäre verursachen.
- Vorkonditionierung der Atmosphäre etwa 30-90 Tage vor dem stratosphärischen Ereignis (s.a. Cohen u. Jones, 2012; Kolstad u. Charlton-Perez, 2011).



Runde, 2012





# Zusammenfassung

- ✓ Die Brewer-Dobson Zirkulation könnte sich in der Zukunft verstärken (robustes Ergebnis von Klima-Chemie-Modellen); dies hätte Konsequenzen für den Transport von Spurengasen und damit für das Klima. Allerdings: Bisher noch keine Belege anhand von Beobachtungen.
- ✓ Die Ozonschicht wird sich bis Mitte dieses Jahrhunderts regenerieren, aber regional unterschiedlich – Folge des Klimawandels.
- ✓ Die Prozesse, die zur Variation des stratosphärischen Wasserdampfgehaltes führen sind noch nicht vollständig verstanden. Es wird erwartet, dass der Wasserdampfgehalt in der Stratosphäre zunehmen wird – Verstärkung des Klimawandels.
- ✓ Die Stratosphäre beeinflusst das Klima. Das Prozessverständnis ist jedoch noch lückenhaft.

